

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-110544

(43)Date of publication of application : 12.04.2002

(51)Int.Cl.

H01L 21/20
H01L 21/268
H01L 21/336
H01L 29/786

(21)Application number : 2001-241661

(71)Applicant : REGENTS OF THE UNIV OF CALIFORNIA
HITACHI LTD

(22)Date of filing : 09.08.2001

(72)Inventor : COSTAS P GRIGOROPOULOS
HATANO MUTSUOKO
MIN-HON LEE
SEUN JAE MUUN

(30)Priority

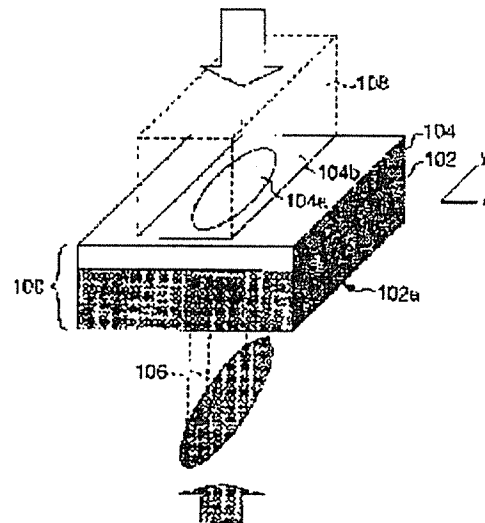
Priority number : 2000 637325 Priority date : 10.08.2000 Priority country : US

(54) THIN FILM CRYSTAL GROWTH BY LASER ANNEALING

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method and an apparatus for forming a polycrystal silicon having large grains from amorphous silicon.

SOLUTION: A first energy beam is emitted to a layer of a material at a first time point for a first time. A second energy beam is emitted to the layer of the material at a second time point for a second time. Here, the second time point is set after the first time point. The second time is set to the same as or shorter than the first time. Thus, the layer of the material is converted from a first state to a second state.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2002-110544
(P2002-110544A)

(43)公開日 平成14年 4月12日 (2002. 4. 12)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード [*] (参考)
H 0 1 L 21/20		H 0 1 L 21/20	5 F 0 5 2
21/268		21/268	G 5 F 1 1 0
			J
21/336		29/78	6 2 7 G
29/786			6 1 8 Z
審査請求 未請求 請求項の数25 O L (全 13 頁)			

(21)出願番号 特願2001-241661(P2001-241661)
(22)出願日 平成13年 8月 9日 (2001. 8. 9)
(31)優先権主張番号 6 3 7 3 2 5
(32)優先日 平成12年 8月10日 (2000. 8. 10)
(33)優先権主張国 米国 (U S)

(71)出願人 501276728
ザ・リージェンツ・オブ・ザ・ユニバーシ
ティー・オブ・カリフォルニア
THE REGENTS OF THE
UNIVERSITY OF CALIF
ORNIA
アメリカ合衆国、カリフォルニア州94607
-5200、オークランド、フランクリン・ス
トリート1111、トゥエルプス・フロア
(74)代理人 100066692
弁理士 浅村 皓 (外1名)

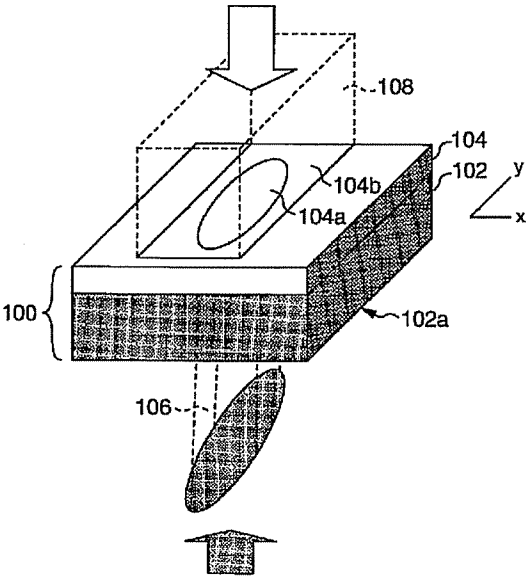
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 レーザアニールによる薄膜結晶成長

(57)【要約】

【課題】 大きな粒の多結晶シリコンをアモルファスシリコンから形成させる方法および装置を提供する。

【解決手段】 第1のエネルギービームを材料の層に、第1の時点において第1の時間照射する。第2のエネルギービームを材料の層に、第2の時点において第2の時間照射する。ここで、第2の時点第1の時点の後とし、第2の時間を第1の時間と同じかまたは短くすることで、材料の層を第1の状態から第2の状態に変換する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 実質的に第1の状態であり、導電体材料、半導体材料または絶縁体材料から選択される材料の層を供給し、該材料の層に第1のエネルギービームを第1の時点において第1の時間照射し、該材料の層に第2のエネルギービームを第2の時点において第2の時間照射することを含む、材料薄膜の形成方法であって、前記第2の時点の前記第1の時点の後とし、前記第2の時間を前記第1の時間と同じかまたは短くし、前記材料の層を第1の状態から第2の状態へ変換する、材料薄膜の形成方法。

【請求項2】 第1の時間が少なくとも100ナノ秒である、請求項1記載の方法。

【請求項3】 第2の時間は100ナノ秒より短い、請求項1記載の方法。

【請求項4】 第1の状態がアモルファス状態である、請求項1記載の方法。

【請求項5】 第2の状態が多結晶状態である、請求項1記載の方法。

【請求項6】 多結晶状態が平均寸法が10 μ mより大きい結晶粒を含む、請求項5記載の方法。

【請求項7】 第1のパルス時間において材料が熔融状態に変換される、請求項1記載の方法。

【請求項8】 第2のエネルギービームの照射により、第2の状態に変換される、請求項1記載の方法。

【請求項9】 第1のエネルギービームおよび第2のエネルギービームの少なくとも1つは、光、レーザ、イオンビームまたは電子ビームから選択される、請求項1記載の方法。

【請求項10】 第1と第2のエネルギービームの走査を含む、請求項1記載の方法。

【請求項11】 材料の層の物理的な移動を含む、請求項1記載の方法。

【請求項12】 第1のエネルギービームの強度分布が、ガウス分布、トップハット型の分布および任意の形状に成形された分布の1つを含んでいる、請求項1記載の方法。

【請求項13】 第1のエネルギービームと第2のエネルギービームとが、同一のソースから放射される、請求項1記載の方法。

【請求項14】 第1のエネルギービームと第2のエネルギービームとが、異なるソースから放射される、請求項1記載の方法。

【請求項15】 ソース、ドレインおよびチャネルを含む薄膜トランジスタにおいて、該チャネルは、ソースドレイン間に設置されており、また第1のエネルギービームをアモルファスシリコンに照射し、それに重畳して第2のエネルギービームをアモルファスシリコン上に第1の時間内において第2の時間照射することにより、アモルファスシリコンから形成される多結晶シリコンを含

んでいる、薄膜トランジスタ。

【請求項16】 チャネルが、平均寸法が10 μ mよりも大きい多結晶粒を含む、請求項15記載の薄膜トランジスタ。

【請求項17】 多結晶粒の粒界が、ソースとドレインとの間の中心線に対して75度もしくはそれより小さい角度で位置する、請求項16記載の薄膜トランジスタ。

【請求項18】 チャネルの長さが、単一の多結晶シリコン粒によって形成されている、請求項15記載の薄膜トランジスタ。

【請求項19】 エネルギービームを放射するための第1のエネルギーソース；エネルギービームを第1と第2のビームに分割するビームスプリッタ；第1のビームをアモルファスシリコンの領域に第1の時間伝搬する第1の伝搬手段；および該領域に第2のビームを第1の時間と重畳する第2の時間伝搬する第2の伝搬手段を含む、アモルファスシリコンから多結晶シリコンを形成する装置。

【請求項20】 エネルギーソースがQWレーザであり、第1の伝搬手段が、音響光学(acousto-optic)変調器および/またはドライバを含む、請求項19記載の装置。

【請求項21】 第1のエネルギービームを放射するための第1のエネルギーソース；第2のエネルギービームを放射するための第2のエネルギーソース；第1のビームをアモルファスシリコンの領域に第1の時間伝搬する第1の伝搬手段；および該領域に第2のビームを第1のビームの後第1の時間と重畳する第2の時間伝搬する手段を含む、アモルファスシリコンからポリシリコンを作製する装置。

【請求項22】 第1のエネルギーソースがQWレーザであり、第2のエネルギーソースがパルス化されたエキシマレーザであり、第1の伝搬手段が音響光学変調器を含む、請求項21記載の装置。

【請求項23】 第1のエネルギービームを放射するための第1のエネルギーソース；第2のエネルギービームを放射するための第2のエネルギーソース；第1のビームを第1の状態である材料の層の領域に伝搬する手段第1のエネルギービームと第2のエネルギービームの制御を行うコントローラ；コントローラに指令を送るコンピュータとメモリを含む装置であって、

a. 第1の状態である材料の層の領域に、第1のエネルギービームを第1の時点で第1の時間照射させ、そしてb. 該領域に、第2のエネルギービームを第2の時点で第2の時間照射させ、ここで上記第2の時点は上記第1の時点より後であり、第2の時間は第1の時間と同じかまたは短く、前記材料の層を第1の状態から第2の状態へ変換する、前記装置。

【請求項24】 第1のエネルギーソースと第2のエネルギーソースとが同一であり、第1の伝搬手段が、エネルギービームを第1のビームと第2のビームに分割する

ビームスプリッタを含み、第2のビームは第2のエネルギービームを含んでいる、請求項23記載の装置。

【請求項25】 第1の伝搬手段が、マイクロメータ寸法の加工プロセスを用いて得られた、少なくとも一つのミラーとレンズを含んでいる、請求項23記載の装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、照射されるエネルギービームの使用による、材料の第1の状態から第2の状態への変化に関する。本発明の一態様においては、二つのレーザビームを重畳させたレーザアニールにより、大きな粒の多結晶シリコン（ポリシリコン（p-Si））がアモルファスシリコン（a-Si）から形成される。また、本発明の他の態様としては、重畳レーザビームを用いてレーザアニールすることにより、薄膜トランジスタ（TFT）を製造する方法が提供される。本発明は、アクティブマトリクス液晶ディスプレイ（AMLCD）、フィールドエミッションディスプレイ（FED）、有機ELディスプレイ（O LED）などのフラットパネルディスプレイを構成するTFTの製造に適用される。さらに、本発明の方法が、光センサーの製造等といった他の分野へもより広く応用され得るものであるということは明らかである。

【0002】

【従来の技術および発明が解決しようとする課題】透明基板上における高品質TFTの製造は、超高精細のAMLCD技術を上手く応用するために重要である。その中で、エキシマレーザ結晶化（ELC）は、先端フラットパネルディスプレイ用の高性能p-Si TFTを実現する重要な技術である。poly-SiTFT性能の特性と均一性とを共に向上させるためには、粒のサイズと位置が精度良く制御された高品質のポリシリコンが必要となることがある。従来、a-Si膜のバルスレーザ結晶化は、ナノ秒オーダーのバルス幅で、紫外領域（UV）に波長があるエキシマレーザで行われており、有望で新しいポリシリコンの製造方法とされていた。レーザアニールは、低コストプロセスおよび高効率という理由より、他の結晶化方法に比べ優れていることが示されてきた。さらに、高速加熱冷却（プロセスに数100ナノ秒を要する）のため、基板への熱ダメージの影響がない低温プロセス技術である。この特徴は、安価で大きなガラスを基板に用いることを可能にするため、実用的に重要である。

【0003】a-Siの膜厚と前加熱などに依存するが、ELCにより通常数100nmの大きさのp-Siが形成される。しかしながら、プロセスマージンが狭く、大粒径を得るには膜厚とほぼ同程度の深さまで溶融させる必要があった。この領域はスーパーラテラル成長（superlateral growth）領域と呼ばれており、膜と基板の界面に溶け残ったシリコン粒子が、横（ラテラル）方向の結晶成長のシードとなるので粒径が大きくなる。

【0004】このようなp-Si膜の横方向の結晶成長は、TFTデバイスにより用いられるp-Siの電気的特性（例えば電界移動度）向上のために重要である。従来のp-Si粒は粒径も位置も制御されておらず、キャリアは粒界で散乱されるため、動作速度が低下し、消費電力は増大する。

【0005】従って、材料の層をある状態から他の状態へ、例えばアモルファス相から多結晶相へ、簡単にしかも制御良く（粒径と位置が制御される）変化させる、簡単な方法および装置が必要であった。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明は、材料の第1の状態から第2の状態へ、例えばアモルファス相から多結晶相へエネルギービームの照射により変化させることに関する。本発明の具体的一態様においては、二つのレーザビームを重畳させたレーザアニールにより、大きな粒のポリシリコン（p-Si）がアモルファスシリコン（a-Si）から形成される。また、本発明は、重畳したレーザ照射による再結晶化を利用することによる、大きな粒で方向と位置を制御された、ポリシリコン粒成長に関する。重畳したレーザ射は、冷却と凝固プロセスを制御し、結晶の構造を決定する。特に、第1のバルス時間における第1のレーザビームは、a-Si膜を溶かし、温度勾配を形成するのに用いられる。初期遅延の後に、第2のレーザビームが、より短いバルス時間で、第1のレーザビームに重ねられ照射される。a-Siが第2のレーザビームで照射されると、第1のレーザビームで加熱された領域が、膜厚方向に完全溶融する。液体Siの温度が核形成温度を下回ると、即時に過冷却された液体Si中で核の形成が始まる。しかし、第1のレーザビームによる連続的な加熱に曝される液体領域の中央部分はゆっくりと冷却される。完全に溶融したスポットの周辺に生成した粒は、液体Siの中で成長し、そして第1のレーザビームスポットの中心で互いに衝突するまで粒は延びる。第1のレーザビームは、溶融したSi相を引き伸ばし、粒成長を一定方向に進める。第2のレーザビームは、核形成を引き起こし、粒位置を制御し、さらに横方向成長を誘起する。

【0007】本発明の材料薄膜の形成方法における一態様は、実質的に第1の状態であり、導電性材料、半導体材料または絶縁材料から選択される材料の層を供給する工程を含んでいる。第1のエネルギービームが材料の層に、第1の時点において第1の時間照射される。第2のエネルギービームが材料の層に、第2の時点において第2の時間照射される。ここで、第2の時点は第1の時点の後であり、第2の時間は第1の時間と同じかまたは短い。その結果、材料の層が第1の状態から第2の状態に変換される。

【0008】本発明の材料薄膜の形成装置における一態様は、第1のエネルギービームを放射するための第1のエネルギー源および第2のエネルギービームを放射する

第2のエネルギー源を含んでいる。第1の伝搬手段は、アモルファスシリコン薄膜上の位置に第1の時間、第1のエネルギービームを与えるように構成され、第2の伝搬手段は、第1のエネルギービーム後の位置に第1の時間内に第1のビームに重畳して第2の時間、第2のエネルギービームを与えるように構成される。

【0009】

【発明の実施の形態】本発明の上記態様および他の態様は、その効果および特徴とともに、下記の記載および添付の図面により詳細に示される。

【0010】本発明は、照射されるエネルギービームの使用による、材料のある状態から他の状態への変化に関する。特に、重畳したレーザ照射による再結晶化を利用することによる、大きな粒で方向と位置を制御された、ポリシリコン粒成長に関する。重畳したレーザ照射は、冷却と凝固プロセスを制御し、得られる結晶の構造を決定する。具体的には、本発明の方法における一態様において、第1のパルス時間における第1のレーザビームは、a-Si膜を溶かし、温度勾配を形成するのに用いられる。初期遅延の後に、第2のレーザビームが、より短い幅で、第1のレーザビームに重ねられ照射される。a-Siが第2のレーザビームで照射されると、第1のレーザビームで加熱された領域が膜厚方向に完全溶融する。液体Siの温度が核形成温度を下回ると、即時に過冷却された液体Si中において核の形成が始まる。しかし、第1のレーザビームにより連続的に加熱された液体領域の中央部分はゆっくりと冷却される。完全に溶融したスポットの周辺に生成した粒は、液体Siの中で成長し、そして第1のレーザビームスポットの中心で互いに衝突するまで粒は延びる。第1のレーザビームは、溶融したSi相を引き伸ばし、粒成長を一定方向に進める。第2のレーザビームは核形成を引き起こし、粒位置を制御し、さらに横方向成長を誘起する。

【0011】図1は、本発明の一実施例である、レーザアニール方法を示す。サンプル100は、透明基板102に形成されたアモルファスシリコン薄膜104からなる。Arイオンレーザから放射された波長514.5nmのパルス幅変調およびビーム成形された第1のレーザビーム106は、透明基板102の裏面102aから照射される。ビーム106は、透明基板102を通過してアモルファスシリコン薄膜104の楕円状の領域104aを加熱する。第1のレーザビーム106がアモルファスシリコン薄膜104に照射されている間に、パルス化されたKrFエキシマレーザからの波長248nmの第2のレーザビーム108が、アモルファスシリコンフィルム104に重畳して照射され、長円領域104aとオーバーラップする第2の領域104bを加熱する。第1のレーザビーム108を停止してサンプルを冷却することにより、長い粒の多結晶のシリコン結晶が、楕円領域104aのエッジから中心に向かって成長する。

【0012】図2は、本発明の結晶化方法における、二

つのレーザビーム強度の時間依存性に対応したタイミングチャートを示す。T₀の時点において第1のレーザビーム106は透明基板の裏面から照射され、アモルファスシリコンを加熱する。約2msの遅れ(A)の後、T₁の時点で第2のレーザビーム108がアモルファスシリコンに照射される。第2のレーザビーム108は、約52nsの間(B)照射され、T₂の時点において停止する。第1のレーザビーム106は、その後、時間Cの間もサンプルに照射され続け、T₃の時点で停止する。トータルの照射時間は約4msである。

【0013】図3A~図3Cは、サンプル100の裏面102aから照射したArイオンレーザビーム106の断面プロファイルを示す。具体的には、図3Aは、1/e²を示す楕円のビーム断面119のセンタ0に対するビーム形を表わす。図3Bは、x軸119aに沿ったビーム強度、および図3Cは、y軸119bに沿ったビーム強度を示す。図3Bおよび3C双方のビーム強度分布はガウス分布である。

【0014】本発明の方法により、アモルファスシリコンからの長い粒のポリシリコンを成長するメカニズムを、図4A~4Dを用いて説明する。

【0015】図4Aは、T₀の時点における状態、すなわちArイオンレーザビームが基板を介してアモルファスシリコン薄膜104に照射され、楕円領域170のアモルファスシリコンが加熱される状態に対応する。図3Bと3Cで示したように、レーザ強度はガウス分布のため、楕円領域170のエッジ170a、楕円領域170のセンタ0の間に温度勾配105が形成される。

【0016】図4Bは、エキシマレーザがサンプル100に照射されたT₁の時点での状態を示す。エキシマレーザビームが照射された領域172は、Arイオンレーザが照射され、加熱された楕円領域170に重畳される。アモルファスシリコン104にエキシマレーザがこのような照射されると、楕円領域170におけるシリコンは、完全に溶融する。

【0017】図4Cは、エキシマレーザパルスの停止時に対応するT₂の時点での状態を表わす。エキシマレーザパルスの停止に伴い、楕円領域170の外周囲の領域170cは急速に冷却する。温度が核形成温度以下になると、核形成、そして粒成長が、周囲の領域170cにおける過冷却状態S_i液体において開始される。より長いパルス時間を有するArイオンレーザによる加熱のために、楕円領域170におけるシリコンは、パルス化されたエキシマレーザビームの停止後、急速には冷えない。周囲の領域170cで核発生シリコン粒を起点に、長円領域170の溶融S_i領域に向かって結晶成長する。この結晶は、反対のエッジから粒境界175を持つ結晶174がセンタ0のセンタで合流するまで成長する。これは、図4Dに示されている。

【0018】本発明のレーザアニールによるアモルファスシリコンから長い粒のポリシリコンの成長は、実験的

結果によってサポートされている。図5A～5Cは、出力938mWを持つArイオンレーザによるパルス時間4msの中間約2msにおいて、フルエンス174mJ/cm²のエキシマレーザでアニールされたサンプルの、走査型電子顕微鏡(SEM)の写真である。図5Aは、アニール処理されたシリコンの3つの異なる領域、すなわち、外側の領域176a、中間の領域176b、および内側の領域176cを表わす。中間の領域176bは、図3Bおよび3Cで示したように、Arイオンレーザのガウス強度プロファイルと一致する。内側の領域176cは、有意の長さで横方向に結晶成長したp-Si粒からなっている。

【0019】図5Bは、外側の領域176aと中間の領域176bとの境界176dの詳細を示す。外側の領域176aは、エキシマレーザパルスによるアモルファスシリコンの部分的な溶解に対応する小さい寸法(<100nm)の粒から成る。中間の領域176bは、アモルファスシリコンフィルムの完全な溶解を引き起こすエキシマレーザエネルギー密度によって形成された微結晶シリコンからなる。

【0020】図5Cは、内側の領域176cの横方向に結晶成長したポリシリコン粒とその周りの中間の領域176bとの境界176eの詳細を示す。内側の領域176cのポリシリコン粒は、粒の長さは約12μmである。なお、本発明は、この粒の長さに制限されず、そして、好ましくは10μmを超えるあらゆる長さの粒を形成することができる。このポリシリコン粒の長さは、最初のレーザビームの断面のサイズおよび強度プロファイルによって決定される。

【0021】図6A～図6Cは、上記した図5A～5Cとは僅かに異なる条件の下でアニール処理したサンプルの走査型電子顕微鏡(SEM)写真を示している。具体的には、フルエンスが252mJ/cm²であるエキシマレーザビームを、出力957mWのArイオンレーザによるパルス時間4msの中間において照射した。ラテラル(横方向)結晶成長した粒150、およびラテラル結晶成長した粒150とその外側にある微結晶構造152の間の境界の全体のイメージが図6Aに、それらの詳細なイメージが図6Bと6Cに示されている。ラテラル結晶成長した粒150の外側にある微結晶構造152は、エキシマレーザがアモルファスシリコン薄膜を完全溶解されていることを示している。ラテラル成長した粒150の楕円の形は、Arイオンレーザ加熱による核形成の抑制を反映している。この核形成抑制により、センタで合流するまでラテラルに結晶成長する。ラテラル成長した粒の長さは、約13μmである。

【0022】原子間力顕微鏡イメージは、先の図5A～5Cおよび図6A～6Cで示した結晶構造に対応する。図7Aは、長い粒のポリシリコン150と周囲の微結晶構造152の境界の2次元イメージを表わす。図7Bは、その3次元イメージを示す。

【0023】さらに、Arイオンレーザの結晶化プロセスにおける役割を明らかにするために、様々なパルス長さのレーザビームを照射してレーザアニールを行った。図

8Aと8Bは、それぞれ5と2msのパルス長さで結晶化したポリシリコンサンプルのSEMイメージである。双方のサンプルは、微結晶構造のポリシリコンであり、これはレーザアニール中にアモルファスシリコン薄膜が部分的にしか溶解していないことを示唆している。Arイオンレーザ照射により、エキシマレーザパルス照射前に温度が上がっていることを示す。エキシマレーザパルスが照射後もArイオンレーザビームが照射されているので、溶融Si相の状態を保持する。これは、第2のレーザパルスの停止以降における、過冷却の液体Siにける核形成を抑制する。

【0024】図9は、本発明によるアモルファスシリコンのレーザアニールを行うための装置構成の一例を示す。レーザアニール装置130は、第1の連続的発振のArイオンレーザ132と第2のバルス化されたKrFエキシマレーザ134を含む。

【0025】第1のArイオンレーザ132は、532nmの波長で第1のレーザビーム106を放出する。第1のレーザビーム106は、ミラー120とレンズ122により音響光学(acousto-optic)モジュレータ(AOM)124に伝搬され、ここで、第1のビーム106は時間的に変調される。この第1のレーザビーム106の変調は、アニールプロセスの間に、透明基板102の過度の加熱およびダメージを防ぐために必要である。TTLシグナル133をファンクションジェネレータ135から受け取るとき、RFジェネレータ126はRFシグナル127をAOM124を供給し、それによってAOM124から発する回折させられた第1のレーザビーム106aのパルス幅が決定される。

【0026】回折させられた第1のレーザビーム106aは、レンズ123、ビームエキシパンダ127、ミラー128、dielectricミラー129、シリンダリカルレンズ131を介して、透明基板102の裏面102aに供給される。シリンダリカルレンズ131により、楕円形状の第2レーザビーム106aが形成される。

【0027】KrFエキシマレーザ134は、248nmの波長で第2のレーザビーム108を放出する。第2のレーザビーム108は、ミラー110、レンズ112、およびビームホモジナイザー113を介してアモルファスシリコン薄膜104に伝搬される。第2のレーザビーム108は、ビームスプリッタ114で分けられ、エネルギーメータ116で検出され、ビーム108のエネルギーを評価する。

【0028】エキシマレーザ134とArイオンレーザ132の照射のタイミングは、ファンクションジェネレータ135によって制御される。ファンクションジェネレータ135は、エキシマレーザ134、Arイオンレーザ132、RFジェネレータ126を電氣的に制御する。ファンクションジェネレータ135は、サンプル100にレーザエネルギーを重畳させる際の時間的な同期をとるために利用される。

【0029】図10Aは、ファンクションジェネレータ135から出力信号であるTTLシグナル133に対応してRFシ

エネレータ126から出力されたRFシグナル127をオシロスコープで測定した出力波形を示す。図10Bは、Si-検出器によって検出され、オシロスコープによって記録された2msのArイオンレーザのパルス波形を表わす。ファンクションジェネレータ135の出力と、サンプル100照射するエキシマレーザ134の照射の間の実測遅延は、約1.8μsであり、標準偏差は0.203μsである。一方、図2において示された、パルス時間4msの第1のレーザビームの遅延は無視できるほど小さい。

【0030】本発明に従ってアモルファスシリコンを結晶化させる方法および装置は、現存する技術に対し、数多くの利点を提供する。

【0031】従来のアモルファスシリコンのレーザアニールは、ビームマスクを用いたレーザビーム強度プロファイルのビーム成形、干渉、遮光、フェーズシフトマスクなどを用いるため、制御が困難、コスト高、長時間を要する、という欠点を有する。レーザアニールの他の従来のアプローチは、反射防止膜のコーティング、基板加熱、予備加熱、薄膜のバタニングなどが必要で、製造プロセスが複雑となり、コスト、時間を要するという欠点を有する。

【0032】これに対して、本発明のレーザアニール方法は、アモルファスシリコン上に特別のマスク構造を形成することを必要とせず、単に第2のレーザを重畳して照射するだけでよい。つまり、本発明のレーザアニール方法は、ホット工程を増加させることなく（マスク数の増大を回避することができる）、容易、安価であり、短時間で処理することができる。

【0033】本発明実施例によるレーザアニール方法の他の利点は、大面積基板への適応の容易性である。従来のレーザアニール技術は、パルス毎のレーザエネルギーが不安定なので、これを回避し均一性を向上させるために、多重にパルスを照射しなければならず、結晶成長の均一性および大きさのばらつきが生じる。そして、これらの制限は、処理速度を減少させ、そして、TFTのプロセス工程に影響を及ぼす。

【0034】これに対して、本発明のレーザアニール方法は、レーザビームの変動の影響を比較的受けにくい。これは、以下の図11Aおよび11Bによって示される

【0035】図11Aは、長いp-Si結晶の粒幅のエキシマレーザのフルーエンス依存性を示す。エキシマレーザは、Arイオンレーザ（4msパルス、945mW出力）が照射された約2ms後に放出される。図11Aより、得られたポリシリコン結晶粒の幅と長さは、エキシマレーザフルーエンスの変動に対しての変化が少なく、プロセスウィンドウが大きいことがわかる。

【0036】図11Bは、エキシマレーザのフルーエンスが200 mJ/cm²の場合における、p-Si結晶の粒幅のArイオンレーザパルスの照射期間依存性を示す。Arの出力は930mWであり、Arイオンレーザのパルスの中において

エキシマレーザを放出させる。図11Bより、得られたポリシリコン結晶粒の幅と長さは、Arイオンレーザのパルスの期間対しての変化が少なく、プロセスウィンドウが大きいことがわかる。

【0037】さらに本発明の利点は、ポリシリコン粒の長さや成長方向を制御できることである。従来のレーザアニール技術は、アモルファスシリコンへのレーザ照射時間が短いため、短時間加熱であり、従って小さい粒サイズのもののしか形成されなかった。しかしながら、本発明による大きな粒のポリシリコンは、時間的に変調された第1のレーザパルスにより温度勾配を誘起し、溶融状態を維持することにより、実現される。すなわち、核形成を抑制し、そして、結晶成長を長時間にわたって維持することにより、結晶を長く伸ばすることができる。

【0038】さらに本発明の方法は、結晶粒の成長方向の制御を可能とする。既に述べたように、結晶成長は、Si溶融領域の周囲上の核形成サイトで開始され、溶融領域の中心に向かって成長する。重畳させるレーザビームの位置および/または形状を制御することにより、溶融領域と結晶粒成長の方向を制御することができる。結晶成長の方向、粒境界のオリエンテーションに対する制御は、レーザビームの走査および/またはサンプルの物理的移動によって行われ、その詳細を以下に説明する。

【0039】本発明によるレーザアニール方法は、多種多様なアプリケーションに適している。

【0040】第1のアプリケーションは、p-Si TFT作製への適応である。図12は、ゲート長Lのゲート1208におけるチャンネル1206によって分けられたソース1202、ドレイン1204からなるTFTデバイス1200の平面図を示す。ソース1202、ドレイン1204、およびチャンネル1206は、本発明によって形成された長いポリシリコン粒1205aを有するシリコン層1205からなる。ゲート1208は、チャンネル1206の上に設けられ、そして、ゲート絶縁膜によってチャンネルから分離される。

【0041】ソース1202およびドレイン1204、そして、ゲート1208およびソース1202の間の電圧差によって、キャリアはチャンネル1206を横断して伝導され得る。しかしながら、p-Si TFTデバイス特性は、チャンネル領域1206の電気伝導特性に敏感に影響される。

【0042】結晶の間の粒界が多い小粒径のポリシリコンからなるチャンネルでは、チャンネルを横断するチャージキャリアの動きを妨げ、p-Si TFTデバイスのスイッチングスピードが抑制され、駆動電圧を増大させる。

【0043】しかしながら、チャンネル領域が高品質で長い粒のポリシリコンから構成される場合、ソースとドレインとの間を横断する粒界が減少するため、粒界でのキャリアの散乱が抑制され、チャンネルのシート抵抗が小さくなる。したがって、p-Si TFTは、小さい駆動電圧において速いスイッチングスピードで動き、また、高い安定性と均一性を有する。

【0044】したがって、本発明の目的は、アモルファスシリコンのレーザアニールにより形成された長い粒結晶領域が、少なくともチャンネルの長さより長いp-Si TFT装置を製造することである。このことは、図12に示されており、ここで、単一の長いシリコン粒1205aは、チャンネル1206の全体の長さLを超えている。

【0045】図12に示すように、粒1205aは10 μ mより大きい平均サイズを有しているが、本発明は、このような大きさの粒を製造することに制限されるわけではない。つまり、粒の長さをより長くまたは短く制御することは可能で、粒の長さを特定の長さにすることで、TFTチャンネル長は、p-Si TFT装置を、MOSあるいはバイポーラデバイスの使用を通常必要とするLSIに適応することが可能となる。

【0046】上記のように、長い粒ポリシリコン領域1206の大きさは、はじめに照射されたレーザビームの断面積によって主として決められる。照射ビームの幅がチャンネル長より短い場合でも、本発明を用いることによりTF装置を作製することが可能である。

【0047】特に、レーザビームをパルス毎に短い距離間隔で走査することができる。これは、大粒径化した結晶領域をオーバーラップすることにより、さらに粒を拡大することができる。別の例としては、重畳してレーザアニールする毎にサンプルを物理的に移動させることにより、更に大きな結晶成長を可能にすることもできる。この場合、結晶成長方向は、サンプルの移動方向と逆方向となる。さらに別のアプローチとして、僅かにオフセットしたスピードでサンプルおよびレーザのそれぞれを移動させ、長いポリシリコン粒を形成することもできる。

【0048】サンプルあるいはビームを停止または移動することにより、図12に示したようにポリシリコン粒1205aの粒界1205bの方向は、ソース1202とドレイン1204との間の中心線Fに対し、ある最大角度E ($E \leq 75^\circ$)

となる。

【0049】図13は、本発明の方法を用いて作製されたp-Si TFT構造を組み込んだフラットパネルディスプレイに示す。ディスプレイ装置1300は、ピクセル1304からなるアレイ1302を含む。各ピクセル1304は、本発明における実施例によって作製されたp-Si TFT 1306で制御される。各p-Si TFTは、水平ライン1308、垂直ライン1310により個々にアドレスできる。水平方向ドライバ構造1312は、水平ライン1308をドライブする。垂直方向ドライバ構造1314は、垂直ライン1310をドライブする。

【0050】ディスプレイ1300は、更にメモリ構造1316、センサ構造1318、およびコントローラ構造1320を含む。それぞれ、本発明で得られたpoly-SiTFTで構成される。コントローラ1320は、水平ドライバ1312、および垂直ドライバ1314を制御し、また個々にアドレスできるTF

T 1306の電圧の印加を制御する。

【0051】本発明によって得られる大粒径のポリシリコン膜は、個々のピクセル1304を制御するTFTトランジスタ1306のソース、ドレイン、およびチャンネル領域を作製するために利用される。本発明の方法は、アレイ1302のピクセル1304の周囲にある電子回路1312、1314、1316、1318を作製するためにも同じく利用され得る。

【0052】上記のように、本発明を特定の実施例と関連して説明したが、本発明はこれらの実施例に制限されない。本発明の範囲から外れない限り、上述した本発明の方法と装置における様々な修正や変更は、当業者にとって明らかである。

【0053】例えば、本発明の方法と装置においては、重畳したレーザビームをアモルファスシリコン膜の表面と裏面から照射したが、そのようなアプローチに制限されない。重畳したレーザビームは、サンプルの同じ側から照射しても、同様の効果が得られる。

【0054】さらに本発明は、上記実施例では、アモルファスシリコンからの多結晶シリコンの形成を示したが、本発明はこの種のアモルファス材料のアニールに限定されない。重畳したレーザビームアニールは、1つの状態から別の状態に材料を変換するような様々な方法に適用される。本発明におけるこの変換に適した材料は、半導体材料、誘電性の材料、および、伝導性の材料に制限されない。

【0055】さらにまた、上記の実施例では、異なるソース(ArイオンレーザとKrFエキシマレーザ)からのレーザビームを用いたが、本発明はこれに限定されない。レーザアニール方法および装置として、1つのレーザソースをビーム分割し、それぞれを異なる時間において異なる期間サンプルに照射することも、本発明の範囲に含まれる。

【0056】さらに上記の実施例では、第1のレーザビームの照射期間の中間において第2のレーザビームを照射したが、本発明はこのタイミングシーケンスに制限されない。第1のレーザビームと第2のレーザビームのサンプルへの照射を、同時に停止する場合も、本発明の範囲に含まれる。結晶粒を大粒径化させる温度勾配の保持および核形成の抑制は、第1のレーザビームと第2のレーザビームとの同時照射によるさらに高温液体シリコンのさらに遅い冷却よりなされる。

【0057】さらに上記の実施例では、第1のレーザビームのパルス時間は、ミリ秒のオーダー、第2のレーザビームのパルスにおいては、ナノ秒のオーダーであるが、本発明ではこれに限定されない。それらのパルスが重畳して、第1のレーザパルスの開始と第2のレーザパルスにある遅延期間間が存在する限り、第1および第2パルス時間には制限がない。しかしながら、第1のパルス時間は少なくとも100ナノ秒であり、第2のパルス時間は、100ナノ秒未満であることが望ましい。

【0058】さらに本発明では、アモルファスシリコンのアニール処理にレーザエネルギーを利用するというように制限されない。レーザ以外のソースからのエネルギーを、アモルファス材料を溶融し、再結晶化させるために用いることができる。そのような代替エネルギー源として、電子ビーム、イオンビームなどが挙げられるが、それらに制限されない。そのようなソースからのエネルギー照射時間は、上述のサンプル材料が溶融し再結晶するように決められる。

【0059】さらに、実施例では、第1のレーザビームとしてガウス分布の強度プロファイルを持つ連続発振(CW)レーザを用いているが、本発明ではこのプロファイルに制限されない。これに替えて他のプロファイル、例えばトップハット型の分布、任意の形状の分布となるようビーム成形されたビームを用いても、本発明と同様の効果が得られる。

【0060】さらに、連続発振レーザをある時間に強度変調することができる。第1のビーム強度の立ち上がりと立下りの時間は、ナノ秒オーダの精度で制御できる。液体シリコンの冷却速度、凝固速度および溶融時間が、ポリシリコン粒の成長を決定する。したがって、時間に対するレーザ強度の変化は、多結晶シリコン構造を決定する重要なファクタである。

【0061】さらに、実施例では、結晶成長を誘起する連続発振レーザの空間的な変調は、シリンドリカルレンズによりなされる。シリンドリカルレンズに替えて、特定の用途に最適なプロファイルを採用することができる。ビーム形状により、結晶の核生成の位置を決定することができる。

【0062】さらに、本発明の実施例で示した方法は、結晶化を促進する種結晶の使用と組み合わせることができる。種結晶は、いくつかの方法で、重畳されたレーザアニール前のアモルファスシリコン上に配置される。種結晶を形成する方法のひとつには、金属によって誘発された固相成長結晶化またはルマンウムによって誘発された固相成長結晶化のような固相成長アニールによる結晶化がある。また、レーザ再結晶化により、種結晶を形成することもできる。種結晶を用いることにより、p-Si粒の位置、方向、方位を容易に制御することが可能となる。

【0063】さらに、スポットが大きいエキシマレーザビームに替えて、マイクロスポットの固体レーザを用いることができる。小さなビーム径である複数の固体レーザを用いることにより、単一のレーザ源への依存性を減少させることで、製造コストを抑制し、スループットの向上を図ることができる。

【0064】さらに、サンプル上のレーザビームの伝搬は、MEMSデバイスを含むマイクロオプティック(micro-optics)を用いて行うことができる。マイクロオーダの寸法を有する光学部品は、微細加工によって、レンズ、ミ

ラー、ビームスプリッタなどの部品を作製することができる。

【0065】さらに、複数のビーム、高い周波数のビームを用いることにより、並列処理を実現し、作製スピードと効率を向上させることができる。また、1つのビームを多数に分岐して、それぞれ独立にサンプル上にレーザ照射することにより、大面積基板を高速にアニールすることができる。

【0066】さらに、ビーム位置合せ、そして、オンラインで観測する手段を取り入れることにより、再現性、安定性および信頼性が高く、且つ強固なレーザアニールシステムを実現できる。MEMSデバイスを含むマイクロオプティック(micro-optics)は、このシステムに有用である。

【0067】実施例においては、本発明の方法を主にp-Si TFT構造の作製と関連付けて説明したが、本発明は、この用途に制限されない。重畳したレーザのアニール方法は、DVDディスクなどの光学記憶装置にも採用できる。選択された領域に大粒径の多結晶材料が形成されるため、これを情報のビットに対応させることができる。

【0068】本発明のいくつかの実施例を詳述したが、本発明に基づく他の同等あるいは代替方法によっても、長いポリシリコンを作製することができる。それらも本発明に含まれ、同等の効果をj得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるレーザアニール方法をあらわす概略遠近法図である。

【図2】本発明において用いられたレーザビームの時間に対する強度変化をプロットした図である。

【図3】図3Aは、サンプルの裏面から照射された楕円形状Arイオンレーザビームの断面強度プロファイルを示す図であり、図3Bは、x軸方向ビーム強度のビーム中心からの距離依存性を示す図であり、図3Cは、y軸方向ビーム強度のビーム中心からの距離依存性を示す図である。

【図4】図4A～図4Dは、本発明における結晶成長メカニズムを表わす説明図である。

【図5】図5A～図5Cは、本発明に従い、エキシマレーザとArイオンレーザを第1の条件で重畳して照射したサンプルの結晶構造を示す走査型電子顕微鏡(SEM)写真である。

【図6】図6A～図6Cは、本発明に従い、エキシマレーザとArイオンレーザを第2の条件で重畳して照射したサンプルの結晶構造を示す走査型電子顕微鏡(SEM)写真である。

【図7】図7Aおよび図7Bは、長い粒の多結晶シリコンとその周囲の微結晶との境界の、二次元および三次元原子間力顕微鏡(AFM)イメージである。

【図8】図8Aおよび図8Bは、Arイオンレーザパルスのみを照射して形成した多結晶シリコンの走査型電子顕

15

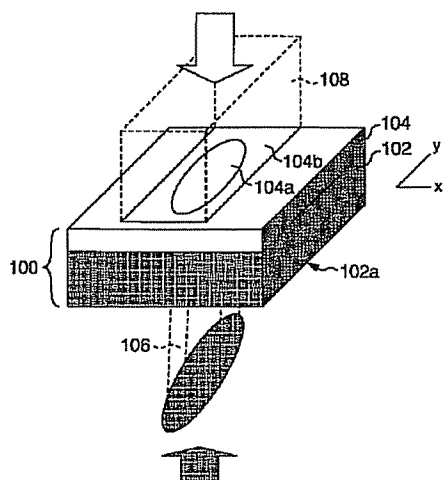
微鏡 (SEM) 写真である。

【図9】図9は、本発明によるレーザアニール装置の一例を示す概略構成図である。

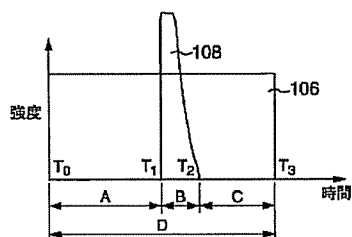
【図10】図10Aは、図9で示したオシロスコープで測定されたTTLシグナルに関するRFシグナル変化を示しており、図10Bは、図9で示したSi検出器により検出され、オシロスコープで記録されたArイオンレーザパルスの波形を示している。

【図11】図11Aは、p-Si結晶の粒幅のエキシマレー*

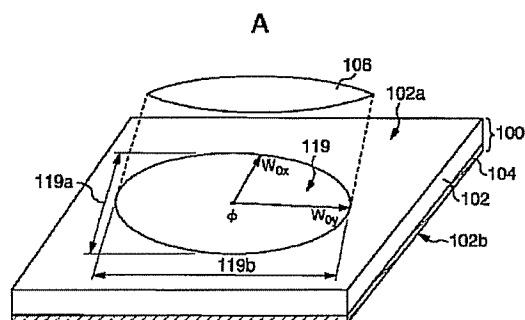
【図1】



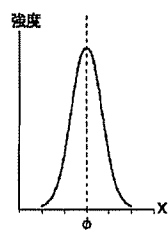
【図2】



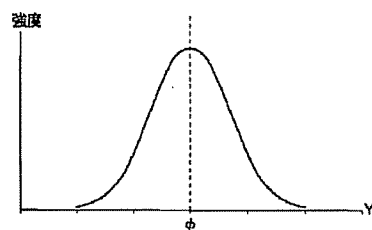
【図3】



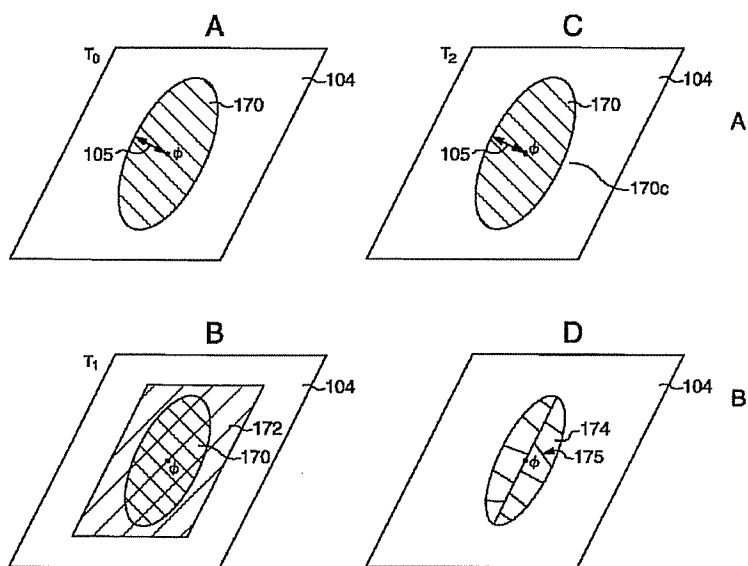
B



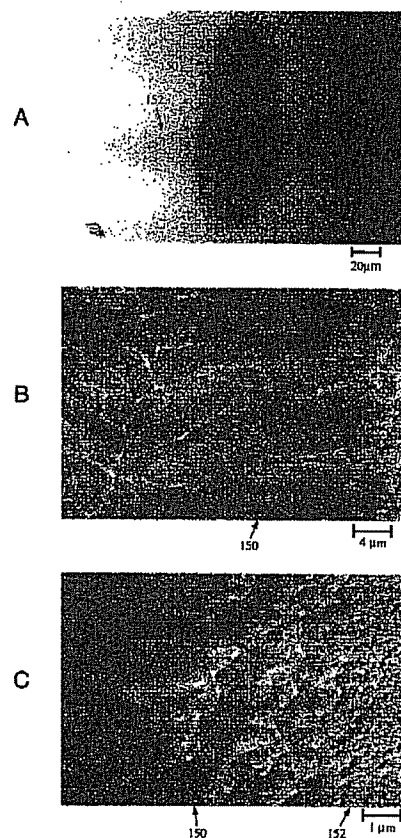
C



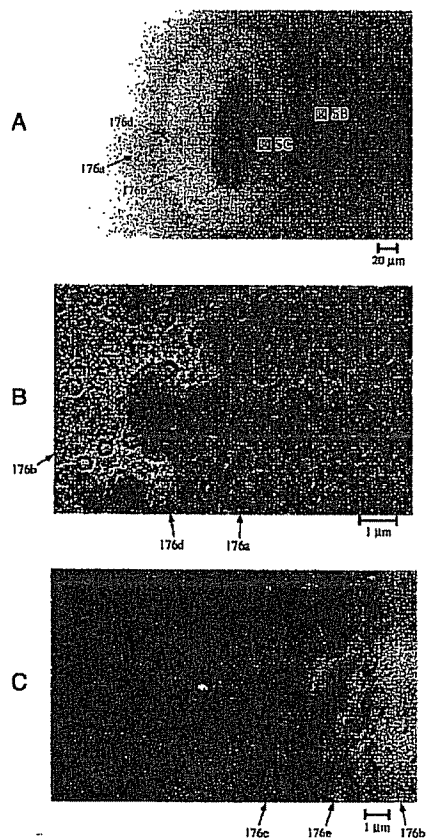
【図4】



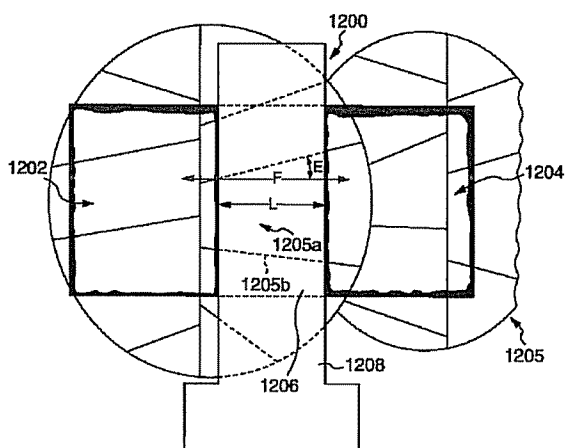
【図6】



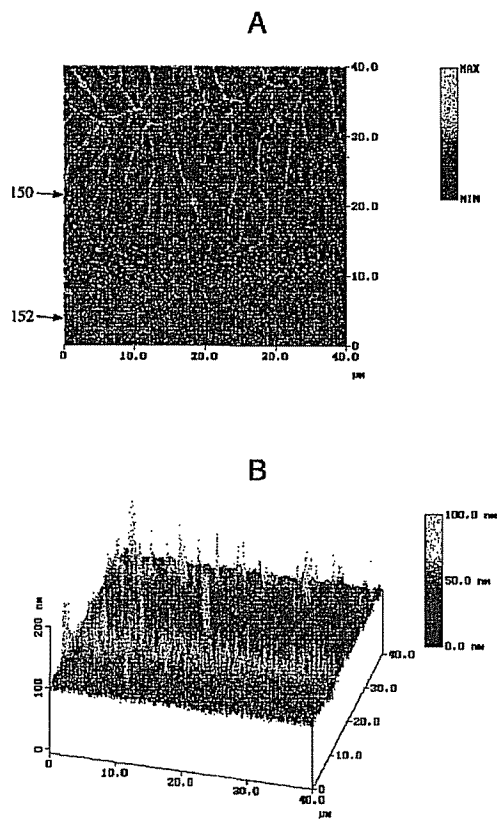
【図5】



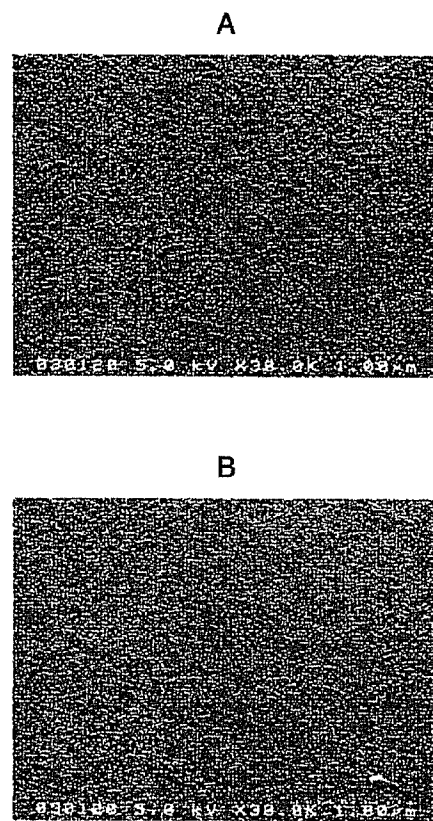
【図12】



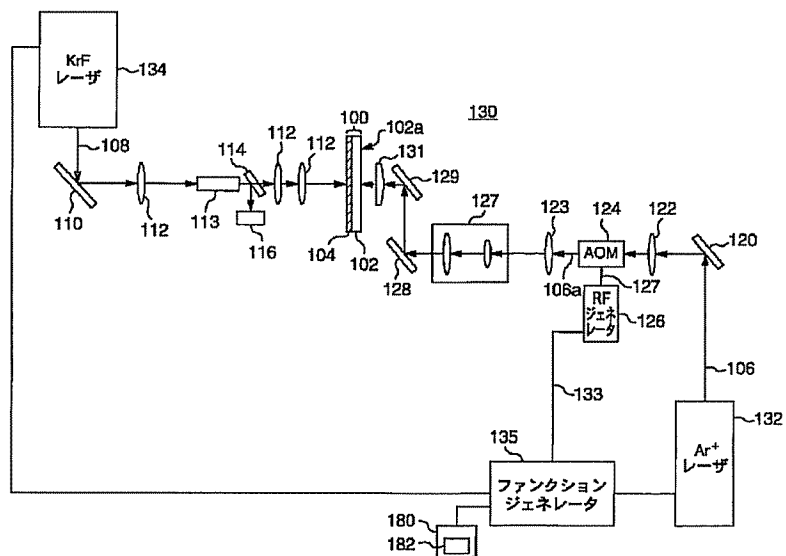
【図7】



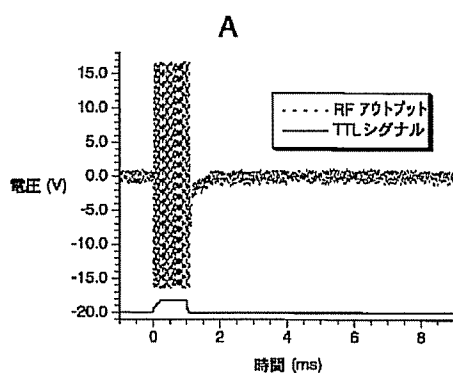
【図8】



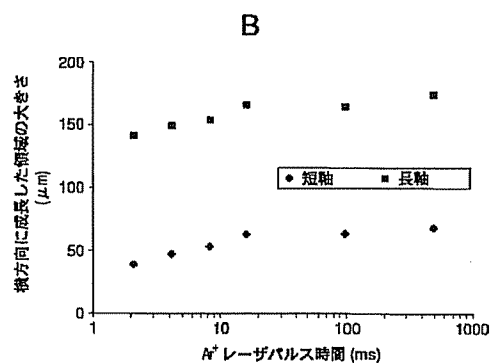
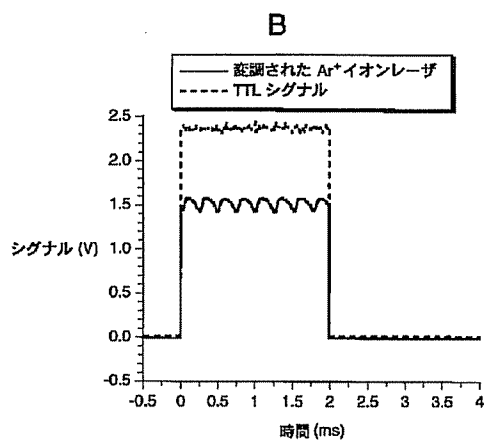
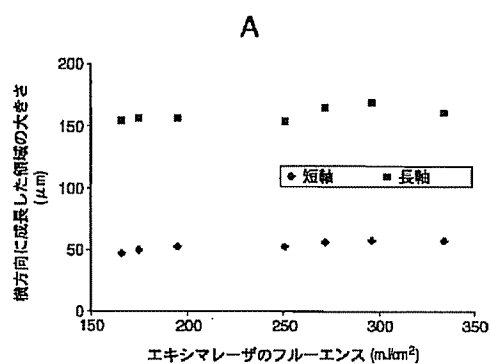
【図9】



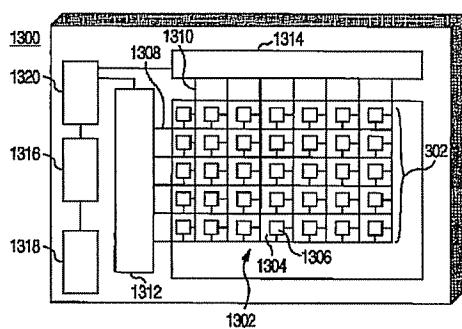
【図10】



【図11】



【図13】



フロントページの続き

(71)出願人 000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 コスタス ビー、グリゴロボウロス
アメリカ合衆国 カリフォルニア、パーク
レイ、 フェアローン ドライブ 69

(72)発明者 波多野 睦子
東京都国分寺市光町 1 - 1 - 29
(72)発明者 ミン - ホン リー
アメリカ合衆国 カリフォルニア、リッチ
モンド、 サンド ダラー ドライブ
2112

(72)発明者 セウン - ジャエ ムーン
アメリカ合衆国 カリフォルニア、パーク
レイ、 ナインス ストリート 913、 ナ
ンバー 57
F ターム(参考) 5F052 AA02 AA03 AA04 AA24 BA02
BA15 BA18 BB01 BB04 BB07
CA04 DA02 FA19 JA01
5F110 AA16 BB02 BB05 BB09 CC01
DD02 GG02 GG13 GG14 GG16
PP01 PP03 PP04 PP06 PP07
PP08 PP23 PP29 PP36 PP40